

1/9/1

DIALOG(R)File 347:JAPIO

(c) 2003 JPO & JAPIO. All rts. reserv.

03814805      \*\*Image available\*\*

WAVEGUIDE TYPE OPTICAL BRANCHING ELEMENT

PUB. NO.:        04-179905    [ JP 4179905    A]

PUBLISHED:      June 26, 1992 (19920626)

INVENTOR(s):    TAKAGI AKIHIRO

JINGUJI KANAME

KAWACHI MASAO

APPLICANT(s):   NIPPON TELEGR & TELEPH CORP <NTT> [000422] (A  
Japanese

Company or Corporation), JP (Japan)

APPL. NO.:       02-309919    [JP 90309919]

FILED:           November 14, 1990 (19901114)

INTL CLASS:      [5] G02B-006/28; G02B-006/12

JAPIO CLASS:    29.2 (PRECISION INSTRUMENTS -- Optical Equipment)

JAPIO KEYWORD: R012 (OPTICAL FIBERS)

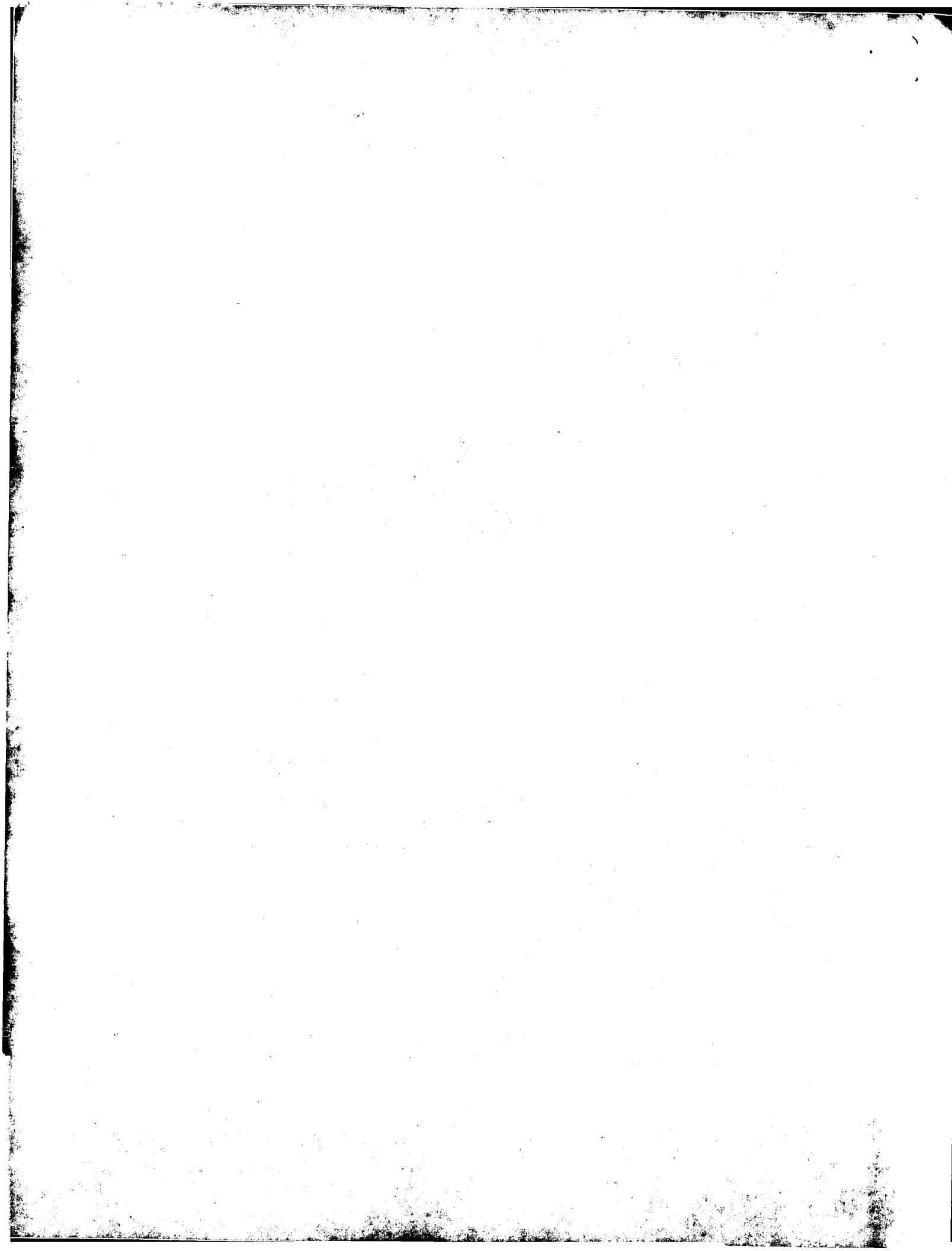
JOURNAL:        Section: P, Section No. 1436, Vol. 16, No. 495,  
Pg. 143,

October 14, 1992 (19921014)

#### ABSTRACT

PURPOSE: To drastically ease the wavelength dependency of coupling rate in a desired wavelength band by making the width of a central waveguide differ from the width of two outside waveguides on both sides of the central waveguide in a coupling area in a directional coupler.

CONSTITUTION: This element is provided with a silicon substrate 1, the quartz optical waveguides 1a-1c formed on the substrate 1, the directional coupler 2 which makes the optical waveguides 1a-1c close to each other at one spot, and the optical waveguides 2a-2c in the directional coupler 2. Among the three optical waveguides 2a-2c in the coupling area in the coupler 2, the width of the central optical waveguide 2b is made to differ from the width of the two outside optical waveguides 2a and 2c, the width is the same between the two waveguides 2a and 2c mutually, then the depth is all the same among the three waveguides 2a-2c. Therefore, practical structure for producing the element by the combination of a waveguide film accumulating method and reactive ion etching, etc., is obtained. Thus, the wavelength dependency of coupling rate is drastically eased in the desired wavelength band.



⑩ 日本国特許庁(JP)

⑪ 特許出願公開

⑫ 公開特許公報(A) 平4-179905

⑬ Int. Cl.<sup>5</sup>

G 02 B 6/28  
6/12

識別記号

W  
D

庁内整理番号

7820-2K  
7036-2K

⑭ 公開 平成4年(1992)6月26日

審査請求 未請求 請求項の数 3 (全14頁)

⑮ 発明の名称 導波型光分岐素子

⑯ 特 願 平2-309919

⑰ 出 願 平2(1990)11月14日

⑱ 発 明 者 高 木 章 宏 東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日本電信電話株式会社内  
⑲ 発 明 者 神 宮 寺 要 東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日本電信電話株式会社内  
⑳ 発 明 者 河 内 正 夫 東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日本電信電話株式会社内  
㉑ 出 願 人 日本電信電話株式会社 東京都千代田区内幸町1丁目1番6号  
㉒ 代 理 人 弁理士 谷 義 一

明 細 書

じであることを特徴とする導波型光分岐素子。

1. 発明の名称

導波型光分岐素子

2. 特許請求の範囲

1) 基板と、前記基板上に配置された3つの光導波路と、該3つの光導波路の各々の一面所を互いに近接させて構成した1個の方向性結合器とを有し、前記3つの光導波路のうちの中央光導波路の片端を入力ポートとなし、前記中央光導波路の他端および前記中央光導波路の両側に配置された2つの外側光導波路の他端を、それぞれ、第1出力ポート、第2出力ポート、第3出力ポートとする導波型光分岐素子において、

前記方向性結合器内の結合領域における前記3つの光導波路のうち、前記中央光導波路の幅が前記2つの外側光導波路の各幅と互いに異なり、前記2つの外側光導波路の幅が互いに同じであり、および前記3つの光導波路の各々の深さはすべて同

2) 前記方向性結合器内の結合領域における前記中央光導波路の幅を前記入力ポートおよび前記第1出力ポートに結合すべき光ファイバのコア径にほぼ等しく定め、前記2つの外側光導波路の各々の幅を前記中央光導波路の幅のほぼ50～150%の幅となし、前記中央および2つの外側光導波路の各々の深さを前記光ファイバのコア径にほぼ等しく定め、前記中央光導波路の前記入力ポートから前記第1出力ポート、第2出力ポートおよび第3出力ポートへの光パワーの結合率の波長依存性を波長1.2  $\mu\text{m}$  から1.8  $\mu\text{m}$  程度にわたって緩和するように設定したことを特徴とする請求項1に記載の導波型光分岐素子。

3) 前記入力ポートおよび前記第1、第2および第3出力ポートの近傍の前記中央光導波路および前記2つの外側光導波路の幅を、前記入力ポートおよび前記第1、第2および第3出力ポートに結

合すべき光ファイバのコア径にほぼ等しくし、前記2つの外側光導波路をテーパ状の過渡領域を経て前記方向性結合器の結合領域内の前記2つの外側光導波路に連結したことを特徴とする請求項1または2に記載の導波型光分岐素子。

(以下余白)

膜フィルタ等を組み合わせて構成するものであり、波長依存性の少ない分岐素子を提供でき、一応実用のレベルにあるものの、組立調整に長時間を要し、長期信頼性や価格、サイズの点で問題を残している。

ファイバ型は光ファイバ自身を構成材料として研磨や融着・延伸工程を経て構成されるものであり、波長依存性の低減されたタイプも実現可能であるが、その作製工程には職人芸を要し、再現性が不良で量産に適さないという欠点がある。

これらに対して、導波型は、フォトリソグラフィ工程により、平面基板上に一括大量生産できる利点があるので将来型の光分岐素子として注目されている。

第10図は、従来の導波型(3×3)光分岐素子(カブラ)の構成例を示す平面図である。第10図において、平面基板21上に3本の光導波路21a, 21bおよび21cが配置され、これら光導波路の一部は互いに近接して方向性結合器22を構成している。方向性結合器22は、例えばポート23bから入射され

### 3. 発明の詳細な説明

#### [産業上の利用分野]

本発明は、光通信分野等で用いる導波型光分岐素子に関するものであり、さらに詳細には、パワー結合率の波長依存性を緩和した導波型光分岐素子に関するものである。

#### [従来の技術]

光ファイバ通信の普及のためには、光ファイバと受光素子および発光素子に加えて、各種の光部品が必要である。なかでも、光分岐素子は、最も基本的な光部品であり、50%分岐、20%分岐、数%分岐等の分岐比(結合率)を持つ分岐素子が要求されている。特に広い波長域にわたって波長依存性が少ない光分岐素子に対する需要は大きい。

(3×3)光分岐素子は、光カブラとも呼ばれ、その形態により、1)バルク型、2)ファイバ型、3)導波型に大別することができる。

バルク型は、マイクロレンズやプリズム、干渉

た信号光を、ポート24a, 24b, 24cに分岐して出力するように設計されている。このとき、方向性結合器のパワー結合率を、希望する特定の波長で所望の値に設定することは可能であるが、広い波長域で光分岐素子を使用する場合には、結合率の波長依存性が問題であった。

#### [発明が解決しようとする課題]

第11図は、第10図に示した導波型光分岐素子の結合率の波長依存性の一例である。この例では、波長1.3 μmにおいて信号光が各出力ポート24a, 24b, 24cに等分配されるよう各出力ポートの結合比( $I_{24a-24c} = I_{24b-24c} = 0.33$ ,  $I_{24a-24a} = 0.34$ )を得た場合、波長1.5 μmでは、( $I_{24a-24c} = I_{24b-24c} = 0.45$ ,  $I_{24a-24a} = 0.10$ )となってしまう、波長1.3 μmと波長1.5 μmの双方において同時に等分配光分岐素子として動作させることはできなかった。

一般に、(3×3)方向性結合器の中心導波路(ここでは導波路21b)から信号光を入射した際のバ

クー結合率 $C(I_{1,0}, \dots, I_{1,0} = I_{2,0}, \dots)$ は、概ね次式で与えられる。

$$C = (\sin^2 \Psi) / 2 \quad \dots (1)$$

ここで、 $\Psi$ は、方向性結合器の結合部の光導波路間隔や結合部長さ、波長等に依存する。通常、 $\Psi$ は波長の増加につれて増加し、この事実が、第11図において33%結合率( $C=0.33$ )を広い波長域にわたって保持することができなかった理由である。

以上、従来の光分岐素子の問題点を導波型を例にとって説明してきたが、ファイバ型についても同様の問題が存在していた。

そこで、本発明の目的は、上記の欠点を解決し、所望の波長域、例えば $1.3 \mu\text{m} \sim 1.6 \mu\text{m}$ を含む波長域において、結合率の波長依存性が、大幅に緩和された導波型光分岐素子を提供することにある。

#### 〔課題を解決するための手段〕

かかる目的を達成するため、本発明の第1形態

のほぼ50～150%の幅となし、前記中央および2つの外側光導波路の各々の深さを前記光ファイバのコア径にほぼ等しく定め、前記中央光導波路の前記入力ポートから前記第1出力ポート、第2出力ポートおよび第3出力ポートへの光パワーの結合率の波長依存性を波長 $1.2 \mu\text{m}$ から $1.8 \mu\text{m}$ 程度にわたって緩和するように設定したことを特徴とする。

本発明の第3形態は、前記入力ポートおよび前記第1、第2および第3出力ポートの近傍の前記中央光導波路および前記2つの外側光導波路の幅を、前記入力ポートおよび前記第1、第2および第3出力ポートに結合すべき光ファイバのコア径にほぼ等しくし、前記2つの外側光導波路をテーパ状の過渡領域を経て前記方向性結合器の結合領域内の前記2つの外側光導波路に連結したことを特徴とする。

#### 〔作 用〕

本発明導波型光分岐素子は、3本の光導波路の

は、基板と、前記基板上に配置された3つの光導波路と、該3つの光導波路の各々の一箇所を互いに近接させて形成した1個の方向性結合器とを有し、前記3つの光導波路のうちの中央光導波路の片端を入力ポートとなし、前記中央光導波路の他端および前記中央光導波路の両側に配置された2つの外側光導波路の他端を、それぞれ、第1出力ポート、第2出力ポート、第3出力ポートとする導波型光分岐素子において、前記方向性結合器内の結合領域における前記3つの光導波路のうち、前記中央光導波路の幅が前記2つの外側光導波路の各幅と互いに異なり、前記2つの外側光導波路の幅が互いに同じであり、および前記3つの光導波路の各々の深さはすべて同じであることを特徴とする。

本発明の第2形態は、前記方向性結合器内の結合領域における前記中央光導波路の幅を前記入力ポートおよび前記第1出力ポートに結合すべき光ファイバのコア径にほぼ等しく定め、前記2つの外側光導波路の各々の幅を前記中央光導波路の幅

1箇所を互いに近接させた方向性結合器において、その結合領域における中央導波路の幅と中央導波路の両側の2つの外側導波路の幅が互いに異なる構造を有する。

したがって、本発明は、構造が極めて簡単であり、従来の方向性結合器型光分岐素子とほぼ同じ大きさとなるので、集積化および小形化の点からも大きな利点を有する。

その結果、本発明では、導波膜堆積法（例えば火災堆積法、スパッタ法等）と、フォトリソグラフィや反応性イオンエッチング等の微細加工プレーナ技術との公知技術の組み合わせで作製する方向性結合器型光分岐素子について実用的な構造を提供して、所望の波長域、例えば $1.3 \mu\text{m} \sim 1.55 \mu\text{m}$ を含む波長域において、例えば、 $P_1=P_2=10\% \pm 2\%$ 、 $P_3=80\% \pm 5\%$ 、あるいは $P_1=P_2=P_3=33\% \pm 5\%$ 等の波長依存性の小さい、実用的な導波型光分岐素子を提供することができる。

原理的には、各導波路の高さ、屈折率等々の導波路パラメータを変化させることによって各導

#### 特開平4-179905(4)

波路の伝達定数を実効的に変えて、上述した本発明における導波路幅を異ならせる相違の場合と同様の機能を実現することができるが、本発明では、フォトリソグラフィや反応性イオンエッチング等の微細加工プレーナ技術を用いるという設計および製造の容易さを考慮して、導波路幅のみを適正に設定している。

よって、本発明による導波型光分岐素子は、広い波長域に広がる光信号の分配用やモニタ用、タップ用として幅広い用途が期待できる。さらに加えて、平面基板上に本発明の光分岐素子を多段に重ねることにより、9分岐素子や27分岐素子への拡張も容易である。さらにまた、同一基板上に光分岐素子をアレイ上に形成し、例えば、250 $\mu$ mピッチの光ファイバアレイと接続して使用することも可能である。

#### 【実施例】

以下、図面を参照して本発明の実施例を詳細に説明する。

いる。光導波路1a, 2a, 1b, 2bおよび1c, 2cは、膜厚50 $\mu$ m程度のSiO<sub>2</sub>系ガラスによるクラッド層8に埋設されたSiO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub>系ガラスコア部（厚さH）からなり、互いに間隔Gだけ離隔し、直線パターンと曲率半径500 $\mu$ mの円弧パターンとの組み合わせにより回路を構成した。方向性結合器2における光導波路2a, 2b, 2cの互いに平行な部分の長さをLとする。

このような石英系光導波路1a, 1b, および1cは四塩化シリコンや四塩化チタンの火炎加水分解反応を利用したガラス膜堆積技術と反応性イオンエッチングによる微細加工技術との公知の組合せで形成できる。

6つの入出力ポートのうち、4つの入出力ポート3a, 3b, 5a, 5bにおける導波路の断面形状は8 $\mu$ m $\times$ 8 $\mu$ mの正方形を相成しており、それらの入出力ポート付近では、外部に接続されるべき光ファイバとの整合性を良くするために、放射モードが生じない程度に十分なめらかなテーパ導波路6a, 6b, 7a, 7bで接続されている。光導波路1b

以下の実施例では、光導波路としてシリコン基板上に形成した石英系単一モード導波路を使用しているが、これは、石英系単一モード導波路が単一モード光ファイバとの接続性に優れ、実用的な導波型光分岐素子を提供できるためである。しかし、本発明は、このような石英系光導波路に限定されるものではないこと、もちろんである。

第1図(A), (B), (C) および(D)は、本発明の第1実施例の導波型光分岐素子の構造を示す、それぞれ、平面図、切断線A-A'またはE-E'に沿う断面図、切断線B-B'またはD-D'に沿う断面図、および切断線C-C'に沿う断面図である。

ここで、1はシリコン基板、1a, 1b, 1cはシリコン基板1上に石英系ガラス材料により形成された石英系光導波路である。

光導波路1a, 1b, および1cを1箇所で互いに近接させ、方向性結合器2を相成する。方向性結合器2およびその周辺での光導波路1a, 2a および光導波路1c, 2cの幅Bは等しく、かつそれらを光導波路1b, 2bの幅Aより小さくするように設定されて

の一端4aを入力ポートとし、光導波路1a, 1b, および1cの各他端3b, 4b, 5bを、それぞれ、出力ポートとする。

P<sub>1</sub>は入力ポート4aに入来する入力光であり、P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub> およびP<sub>3</sub>は、それぞれ、光導波路1a, 1b, および1cの各他端3b, 4b, 5bから取り出される出力光である。

入力ポート3a, 4a, 5a間および出力ポート3b, 4b, 5b間の各間隔は、本実施例ではいずれも0.250mmに設計されている。

第2図は第1実施例における各出力導波路での結合比の波長依存性を示す図であり、本実施例は、波長域1.3 $\mu$ m $\sim$ 1.55 $\mu$ mで、P<sub>1</sub>=P<sub>2</sub>=P<sub>3</sub>=33% $\pm$ 5%の出力パワーを有するように、第1図(D)に示す各部寸法A=8.0 $\mu$ m, B=7.0 $\mu$ m, H=8.0 $\mu$ m, G=4.0 $\mu$ m, 各光導波路のコアクラッド間屈折率差 $\Delta n=0.25\%$ 、光導波路2a, 2b, 2cの平行部分の長さL=0.5mmと構造設計されている。

第2図において、実線は計算値、黒印は実験値を示しており、両者は極めてよく一致しているこ

とがわかる。このように、本実施例では、第10図に示した従来例の場合とくらべて、外側導波路2a, 2cの幅Bを中央導波路2bの幅Aより小さくかつ適正に設定することにより伝搬定数の差を一層大きくして、波長域 $1.3\ \mu\text{m} \sim 1.55\ \mu\text{m}$ で、5 dBカブラ（1/4分岐素子）を実現することができる。

第3図は、本発明の第2実施例における各出力導波路での結合比の波長依存性を示す図である。本実施例では、波長域 $1.3\ \mu\text{m} \sim 1.55\ \mu\text{m}$ で、 $P_1=P_2=10\%$ 、 $P_3=80\%$ の出力パワーを有するように、 $A=8.0\ \mu\text{m}$ 、 $B=6.0\ \mu\text{m}$ 、 $H=8.0\ \mu\text{m}$ 、 $G=5.5\ \mu\text{m}$ 、 $\Delta n=0.25\%$ 、 $L=0.9\text{mm}$ と構造設計されている。

第3図において、実線は計算値、黒印は実験値を示しており、両者は極めてよく一致していることがわかる。このように、本実施例においても、第10図に示した従来例の場合とくらべて、外側導波路2a, 2cの幅Bを中央導波路2bの幅Aより小さくかつ適正に設定することにより伝搬定数の差を

中央導波路2bの幅より小さくかつ適正に設定することにより伝搬定数の差を一層大きくして、パワー分岐比の波長依存性を緩和していた。

これに対して、外側導波路2a, 2cの幅Bを中央導波路2bの幅Aより大きくかつ適正に設定することによっても伝搬定数の差を同様に大きくすることが可能であり、例えば、波長域 $1.3\ \mu\text{m} \sim 1.55\ \mu\text{m}$ で、パワー結合率の波長依存性を緩和することができる。以下ではこの場合の各種実施例について述べる。

第5図(A)、(B)、(C)および(D)は、本発明の第4実施例としての導波型(3×3)光分岐素子の構造を示す、それぞれ、平面図、切断線A-A'またはE-E'に沿う断面図、切断線B-B'またはD-D'に沿う断面図および切断線C-C'に沿う断面図である。ここで、各構成要素は、第1実施例の場合とほぼ同じであるが、外側導波路1a, 2a, 1c, 2cの幅を中央導波路1b, 2bの幅より大きくしている点で第1実施例と大きく異なる。その他の点は第1実施例と同様であり、各光導波路の高さは等しくHであ

一層大きくして、波長域 $1.3\ \mu\text{m} \sim 1.55\ \mu\text{m}$ で、 $P_1=P_2=10\%$ 、 $P_3=80\%$ のパワー分岐比を実現することができる。

第4図は、本発明の第3実施例における各出力導波路の結合比の波長依存性を示す図である。本実施例では、波長域 $1.3\ \mu\text{m} \sim 1.55\ \mu\text{m}$ で、 $P_1=P_2=5\%$ 、 $P_3=90\%$ の出力パワーを有するように、 $A=8.0\ \mu\text{m}$ 、 $B=5.0\ \mu\text{m}$ 、 $H=8.0\ \mu\text{m}$ 、 $G=4.0\ \mu\text{m}$ 、 $\Delta n=0.25\%$ 、 $L=0.1\text{mm}$ と構造設計されている。

第4図において、実線は計算値、黒印は実験値を示しており、両者は極めてよく一致していることがわかる。このように、本実施例においても、第10図に示した従来例の場合とくらべて、外側導波路2a, 2cの幅Bを中央導波路2bの幅Aより小さくかつ適正に設定することにより伝搬定数の差を一層大きくして、波長域 $1.3\ \mu\text{m} \sim 1.55\ \mu\text{m}$ で、 $P_1=P_2=5\%$ 、 $P_3=90\%$ のパワー分岐比を実現することができる。

これまで説明した第1実施例～第3実施例では、いずれの場合にも、外側導波路2a, 2cの幅を

り、互いの間隔はGであり、方向性結合器2における各光導波路2a, 2b, 2cの平行部分の長さはLとする。

第6図は、第4実施例の各出力導波路での結合比の波長依存性を示す図であり、本実施例は、波長域 $1.3\ \mu\text{m} \sim 1.55\ \mu\text{m}$ で、 $P_1=P_2=P_3=33\% \pm 5\%$ の出力パワーを有するように、 $A=8.0\ \mu\text{m}$ 、 $B=11.0\ \mu\text{m}$ 、 $H=8.0\ \mu\text{m}$ 、 $G=4.0\ \mu\text{m}$ 、 $\Delta n=0.25\%$ 、 $L=0.9\text{mm}$ と構造設計されている。このように、本実施例では、第10図に示した従来例の場合とくらべて、外側導波路2a, 2cの幅Bを中央導波路2bの幅Aより小さくかつ適正に設定することにより伝搬定数の差を一層大きくして、波長域 $1.3\ \mu\text{m} \sim 1.55\ \mu\text{m}$ で、5 dBカブラ（1/4分岐素子）を実現することができる。

第7図は、本発明の第5実施例における各出力導波路での結合比の波長依存性を示す図である。本実施例では、波長域 $1.3\ \mu\text{m} \sim 1.55\ \mu\text{m}$ で、 $P_1=P_2=10\%$ 、 $P_3=80\%$ の出力パワーを有するように、 $A=8.0\ \mu\text{m}$ 、 $B=11.0\ \mu\text{m}$ 、 $H=8.0\ \mu\text{m}$ 、 $G=5.0$

$\mu\text{m}$ ,  $\Delta n=0.25\%$ ,  $L=1.85\text{mm}$ と構造設計されている。このように、本実施例においても、第10図に示した従来例の場合とくらべて、外側導波路2a, 2cの幅Bを中央導波路2bの幅Aより小さくかつ適正に設定することにより伝搬定数の差を一層大きくして、波長域 $1.3\mu\text{m} \sim 1.55\mu\text{m}$ で、 $P_1=P_2=10\%$ ,  $P_3=80\%$ のパワー分岐比を実現することができる。

これまでの第1～第5実施例の波長依存性を解析してきた過程において、外側導波路2a, 2cから出射する光パワーの最大結合率(分岐比)と外側導波路幅との関係に注目すると、第8図に示される、光分岐素子設計上有用なグラフが得られる。なお、第8図において、横軸の外側導波路幅の大きさは、中央導波路幅( $8.0\mu\text{m}$ )で規格化してある。

第8図から、外側導波路2a, 2cに結合する最大結合率は50%であり、そのときの外側導波路2a, 2cの幅Bの大きさは中央導波路2bの幅Aに一致せず、1割程度大きい幅のときに可能であるこ

しかも、本実施例の3dBカブラは、たとえ波長が大きく変動したとしてもパワー分岐比は決して50%を越えず、中央導波路へ戻す作用を持っており、この点で、従来の(2×2)光分岐素子による3dBカブラと大きく異なる。もし、さらに外側導波路の幅を大きくすると、第8図からもわかるように、中央導波路からのパワー結合率は再び、50%に到達しないこと、もちろんである。

上述した各実施例における光導波路1a, 2a, 1b, 2b, 1c, 2cの各寸法について述べる。中央光導波路1b, 2bの幅は、入出力ポートに結合すべき光ファイバと損失少く光パワーの入出力を行うべく、かかる光ファイバのコア径、あるいはシングルモード条件を満たすコア径にほぼ等しくなし、残余の2つの外側光導波路1a, 2a, 1c, 2cについては、損失の点からは前記コア径に近い値とすることと、屈折率差をも考慮した設計上の許容度から考えて、中央光導波路1b, 2bの50～150%程度の大きさとするのが好適であることが実験的検証により確かめられた。3つの光導波路1a, 2a, 1b, 2b,

とがわかる。すなわち、外側導波路2a, 2cの幅を中央導波路2bの幅より若干大きくかつ適正に設定することによって、3本の導波路幅がすべて等しい従来の(3×3)光分岐素子では不可能であった3dBカブラを実現することが可能となる。最後に、この3dBカブラの実施例について述べる。

第9図は、本発明の第6実施例における、各出力導波路での結合比の波長依存性を示す図である。本実施例では、波長域 $1.3\mu\text{m} \sim 1.55\mu\text{m}$ で、 $P_1=P_2=50\%$ ,  $P_3=0\%$ の出力パワーを有するよう、 $A=8.0\mu\text{m}$ ,  $B=9.0\mu\text{m}$ ,  $H=8.0\mu\text{m}$ ,  $G=3.5\mu\text{m}$ ,  $\Delta n=0.25\%$ ,  $L=0.3\text{mm}$ と構造設計されている。このように、外側導波路2a, 2cの幅Bを中央導波路2bの幅Aよりも若干大きくかつ適正に設定すれば、外側導波路2a, 2cが感じる伝搬定数と、中央導波路2bが感じる伝搬定数を同一にすることができ、中央導波路2bに入射した光パワーは中央導波路2bに残留せず、ほぼ $P_1=P_2=50\%$ ,  $P_3=0\%$ なる3dBカブラのパワー結合率を実現することができる。

1c, 2cの各深さについては、前記コア径程度に定めるのが好ましい。上述した実施例からわかるように、たとえばコア径が $8\mu\text{m}$ 程度の場合には、中央光導波路の幅を $8\mu\text{m}$ 程度となし、外側光導波路の幅を $4\mu\text{m} \sim 12\mu\text{m}$ 程度となし、すべての光導波路の深さを $8\mu\text{m}$ 程度とするのが好ましかった。

以上の各実施例において、方向性結合器の結合部の構造パラメータについて記述したが、方向性結合器はきわめて構造敏感な光回路素子であるので、製造者はそれぞれの製造工程の弊などを考慮して、そのパラメータを変更することができる。

また、上記の各実施例では、1個の方向性結合器の結合部における中央導波路の幅と外側導波路の幅を互いに異なるようにした場合を扱ったが、これを拡張して、N個の方向性結合器を連結して全体でよりフラットな波長依存性を達成することも可能である。

さらにまた、以上の各実施例においては、シリ



コン基板 1 上の石英系 ( $\text{SiO}_2\text{-TiO}_2$ ) 光導波路 1a, 2a, 1b, 2b, 1c, 2c により光分岐素子を構成したが、本発明における基板は、シリコン基板に限定されず、石英ガラス基板等に変更することが可能である。あるいはまた、コア部の主ドーパントとして  $\text{GeO}_2$  を用いた ( $\text{SiO}_2\text{-GeO}_2$ ) 光導波路を用いることもできる。

さらにまた、前述したように、本発明はこれらの石英系光導波路に限定されるものではなく、他の導波路材料系、例えば多成分ガラス導波路系やニオブ酸リチウム導波路系にも適用できる。

さらにまた、上述の各実施例では、伝搬定数の差を導波路幅の差によって設定したが、場合によっては 3 本の光導波路の各幅を互いに同一にしておき、かつ中央導波路と外側導波路の屈折率値に僅かな差を与える方法、あるいはコア領域を異種コア材料で複合化することにより、実効的な伝搬定数差を設定する構成としてもよい。

例えば、方向性結合器間の光導波路の上部に薄膜ヒータを装着しておき、中央導波路側の光導波

路と 3 つの出力ポートとから成る ( $3 \times 3$ ) 構造を基本とするが、場合によっては、たとえば、入力ポートのうちの 2 個を省略して、見かけ上 ( $1 \times 3$ ) カプラとして構成する等の変形を与えることも適宜できる。

なお、以上の実施例では ( $3 \times 3$ ) の光分岐素子について説明したが、同様な考え方から、アレイ状の結合導波路を持つ ( $5 \times 5$ )、( $7 \times 7$ )、( $9 \times 9$ )、… ( $N \times N$ ) ( $N$ : 奇数) 等の方向性結合器についても本発明を適用して同様な光分岐素子を実現することもできる。すなわち、最端に位置する導波路の幅を、それ以外の導波路の幅と異ならしめることによって、同じような光分岐素子を構成することができることを付記しておく。

#### 〔発明の効果〕

以上説明したように、本発明によれば、火炎堆積法やスパッタ法等の導波膜堆積法とフォトリソグラフィや反応性イオンエッチング等の微細加工プレーナ技術との公知技術の組み合わせで作製す

る路の屈折率値を熱光学効果により調整して所望の光分岐素子を実現することもできる。

あるいはまた、予め設定しておいた伝搬定数差に加えて、中央導波路または外側導波路上に予備的な薄膜ヒータを装荷しておき、薄膜ヒータをオン・オフすることにより結合特性を波長依存性小の特性と波長依存性大の特性との間でスイッチングすることも可能である。

さらにまた、上述の実施例では、3 本の光導波路 1a, 1b, 1c のうちの中心導波路 1b の一端の入力ポート 4a から信号光を入力した際の、結合特性について扱った。これは、このような使用形態が最も一般的であるからである。しかし、本発明の光分岐素子の波長依存性緩和特性は、他の入力ポート 3a あるいは 5a から信号光を入力しても維持されることを指摘しておく。もちろん、入力ポート 3a あるいは 5a を用いた場合には、出力ポート 3b の出力光強度と出力ポート 5b の出力光強度とは、通常、大きな強度差が見られることはもちろんである。また、本発明の光分岐素子は 3 つの入力ポ

方向性結合器型光分岐素子について実用的な構造を提供して、所望の波長域、例えば  $1.3 \mu\text{m} \sim 1.55 \mu\text{m}$  を含む波長域において、結合率の波長依存性が、たとえば  $33\% \pm 5\%$  に緩和された低損失な導波型光分岐素子を提供することができる。さらに加えて、本発明では、入出力ポート近傍の導波路幅をテーパ状にして光ファイバとの接続を容易にする構造を提供することができる。

このような本発明による導波型光分岐素子は、広い波長域に分布する光信号の分配用やモニタ用、タップ用として幅広い用途が期待される。さらにまた、平面基板上に、本発明の光分岐素子を多段に連結して配置することにより、9 分岐素子や 27 分岐素子への拡張も容易である。しかもまた、本発明によれば、同一基板上に光分岐素子をアレイ状に形成し、例えば、 $250 \mu\text{m}$  ピッチの光ファイバアレイと接続して使用することも可能である。さらにまた、本発明光分岐素子は、平面基板上に大量に一括作製することができることから、低価格化も期待でき、本発明の光分岐素子お

よびその応用素子は、光通信システムの普及に大きく貢献するものと期待される。

#### 4. 図面の簡単な説明

第1図(A),(B),(C)および(D)は、本発明の第1実施例の導波型光分岐素子の構造を示すそれぞれ、平面図、切断線A-A'またはE-E'に沿う断面図、切断線B-B'またはD-D'に沿う断面図、および切断線C-C'に沿う断面図、

第2図は、第1実施例における各出力導波路での結合率の波長依存性 ( $P_1=P_2=P_3=33\% \pm 5\%$ ) を示す特性図、

第3図は、第2実施例における各出力導波路での結合率の波長依存性 ( $P_1=P_2=10\%, P_3=80\%$ ) を示す特性図、

第4図は、第3実施例における各出力導波路での結合率の波長依存性 ( $P_1=P_2=5\%, P_3=90\%$ ) を示す特性図、

第5図(A),(B),(C)および(D)は、本発明の第4実施例の導波路型光分岐素子の構造を示す、そ

説明図である。

- 1…シリコン基板、
- 1a, 1b, 1c…石英系光導波路、
- 2…方向性結合器、
- 2a, 2b, 2c…石英系光導波路、
- 3a, 3b, 4a, 4b, 5a, 5b…入出力ポート用導波路、
- 6a, 6b, 7a, 7b…テーパ導波路、
- 8…クラッド層、
- 21…基板、
- 21a, 21b, 21c…光導波路、
- 22…方向性結合器、
- 23a, 23b, 23c…入力ポート、
- 24a, 24b, 24c…出力ポート、

特許出願人 日本電信電話株式会社

代理人 弁理士 谷 豊 一

れぞれ、平面図、切断線A-A'またはE-E'に沿う断面図、切断線B-B'またはD-D'に沿う断面図、および切断線C-C'に沿う断面図、

第6図は、第4実施例における各出力導波路での結合率の波長依存性 ( $P_1=P_2=P_3=33\% \pm 5\%$ ) を示す特性図、

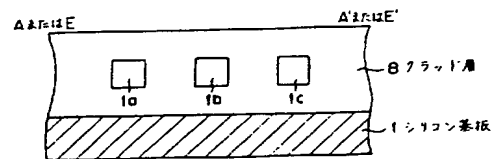
第7図は、第5実施例における各出力導波路での結合率の波長依存性 ( $P_1=P_2=10\%, P_3=80\%$ ) を示す特性図、

第8図は、外側導波路からの出射光パワー $P_1, P_2$ の最大結合率と外側導波路幅との関係を示す特性図、

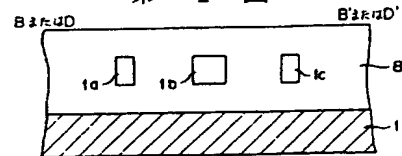
第9図は、第6実施例における各出力導波路での結合率の波長依存性 ( $P_1=P_2=50\%, P_3=0\%$ ) を示す特性図、

第10図は、結合領域における3本の光導波路の幅がすべて等しい、従来の導波型(3×3)光分岐素子の構成例を示す平面図、

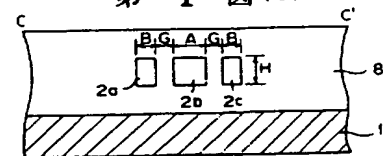
第11図は、第10図に示した、従来の導波型(3×3)光分岐素子における結合率の波長依存性の



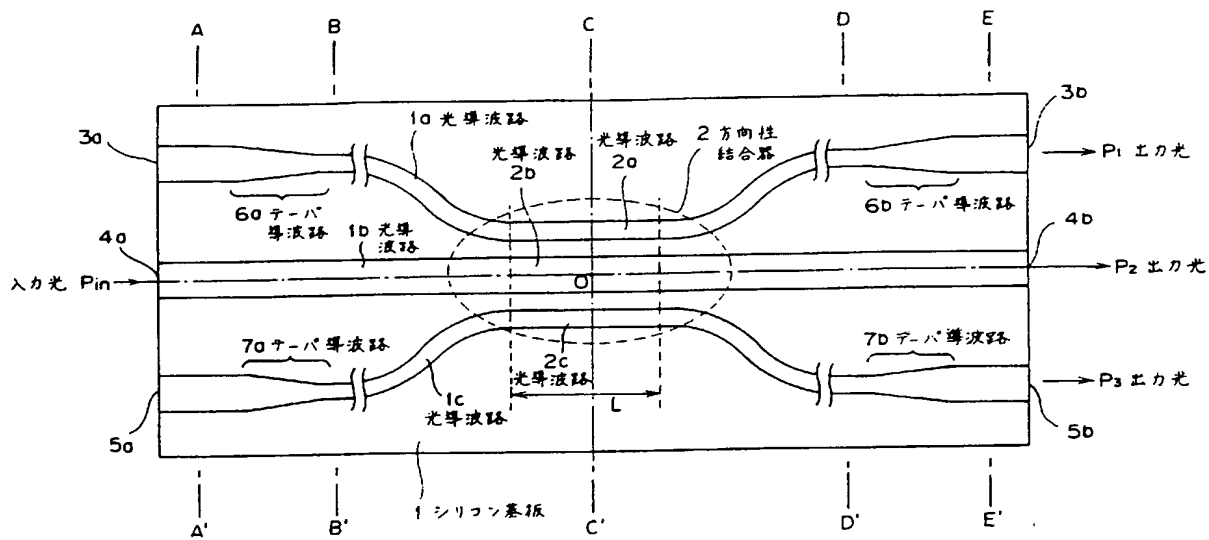
本発明の第一実施例の構造を示す  
A-A'またはE-E'に沿う断面図  
第1図(B)



本発明の第一実施例の構造を示す  
B-B'またはD-D'に沿う断面図  
第1図(C)

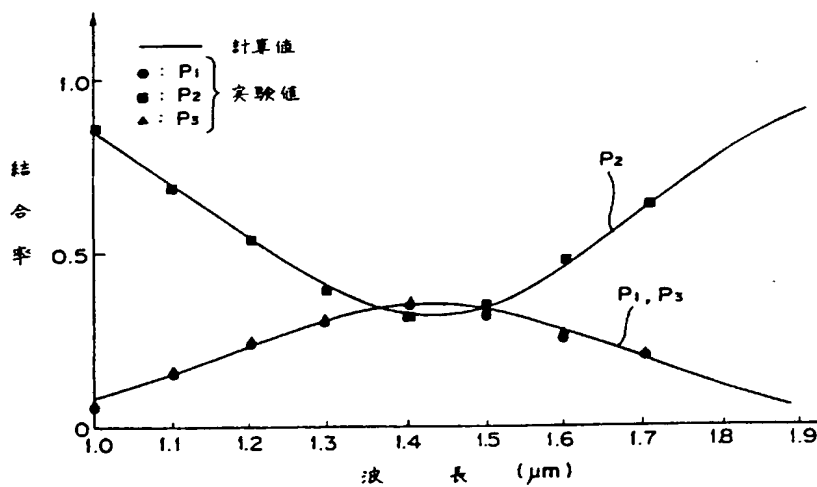


本発明の第一実施例の構造を示す  
C-C'に沿う断面図  
第1図(D)



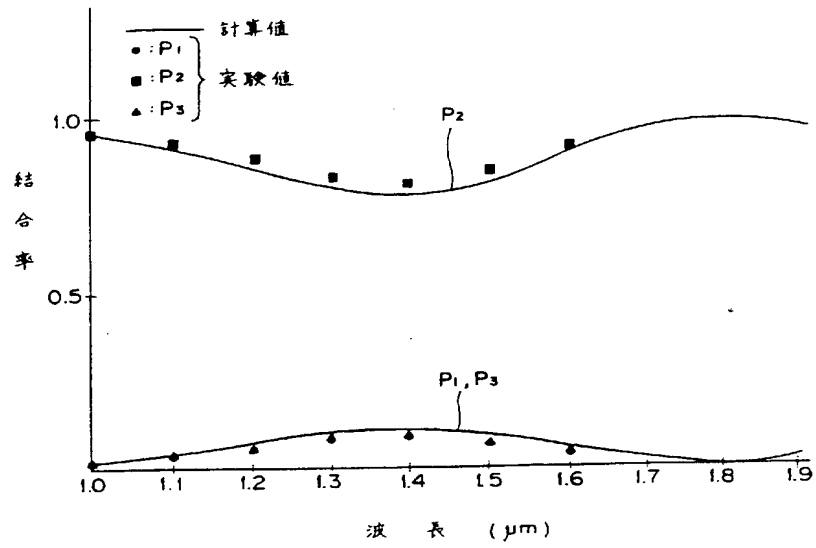
本発明の第1実施例の構造を示す平面図

第 1 図 (A)



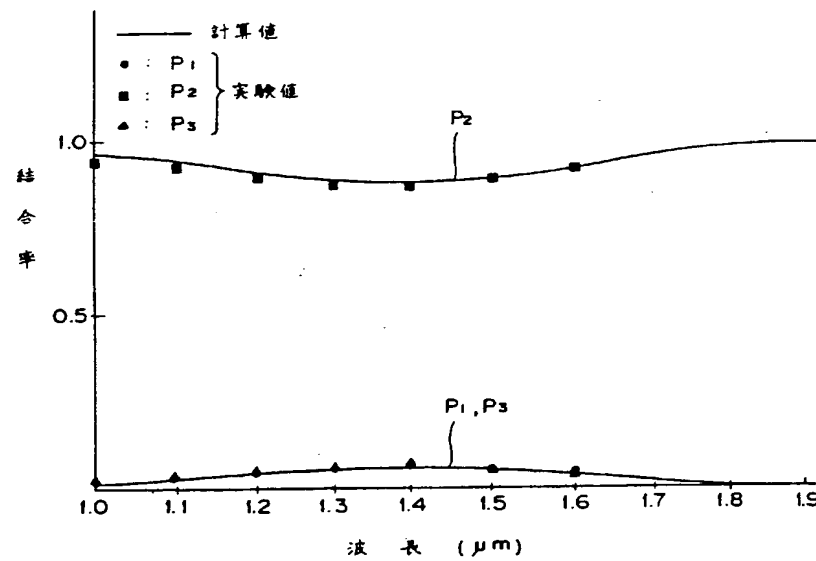
第1実施例の波長依存特性図

第 2 図



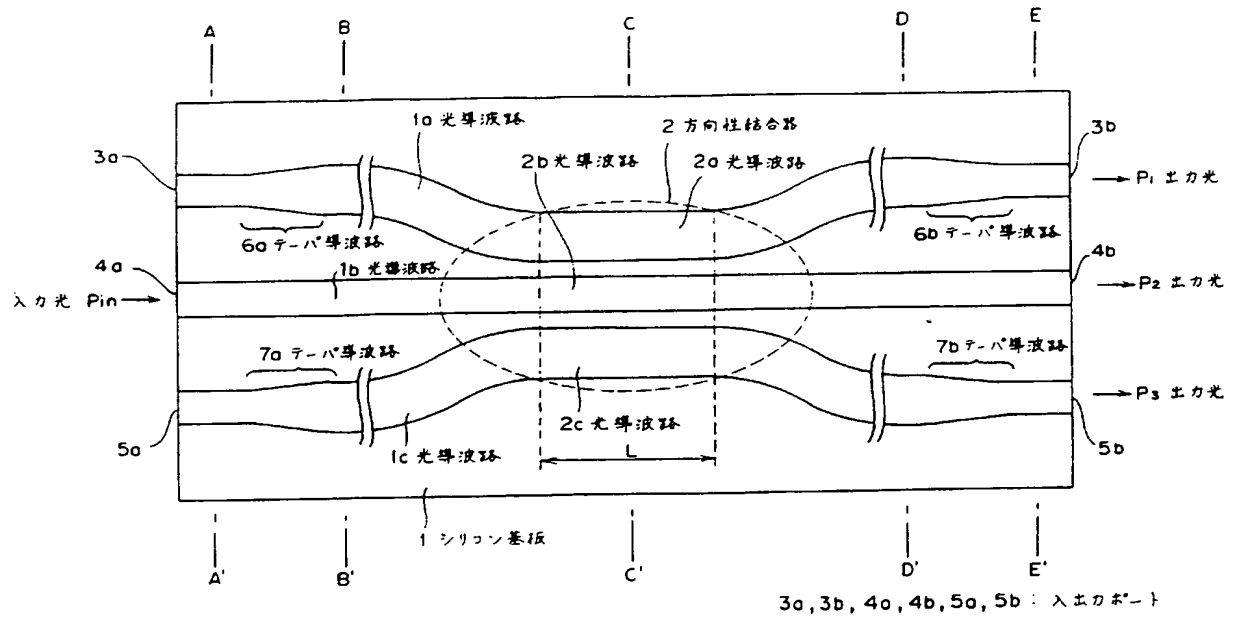
第2実施例の波長依存特性図

第 3 図

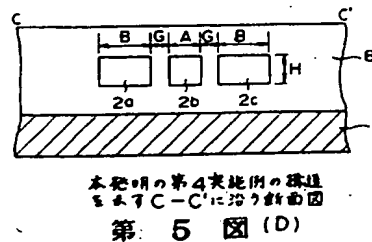
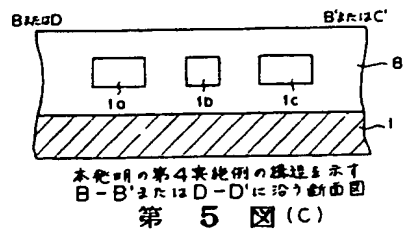
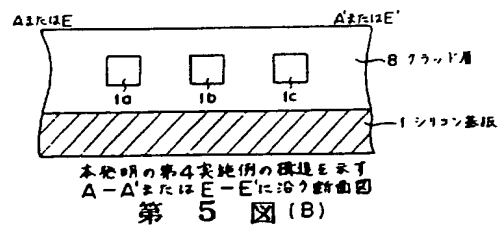


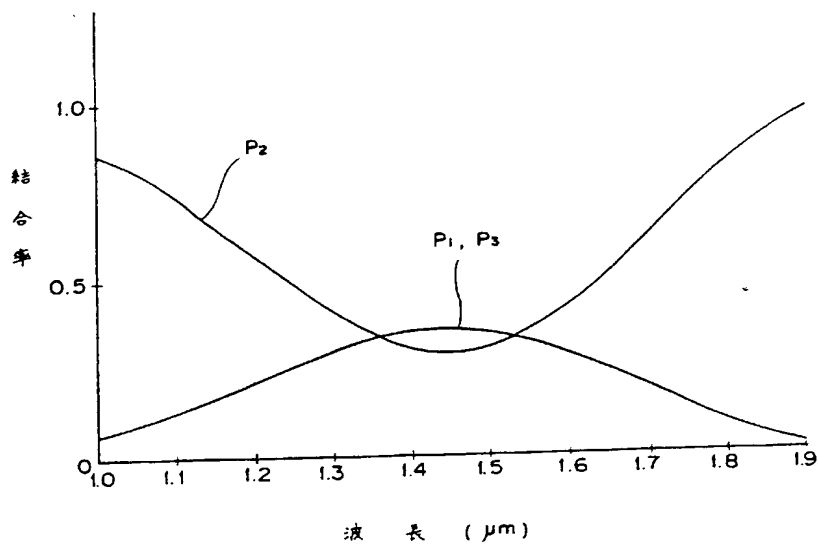
第3実施例の波長依存特性図

第 4 図

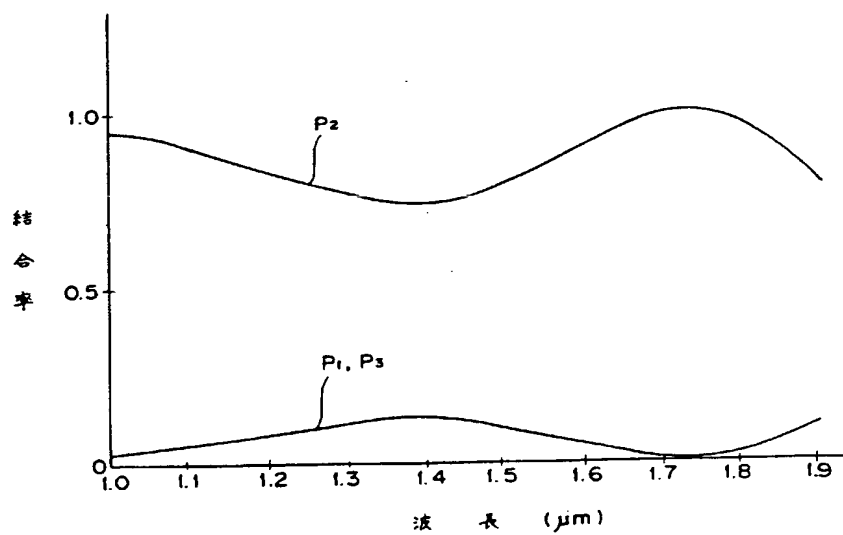


本発明の第4実施例の構造を示す平面図  
第 5 図 (A)

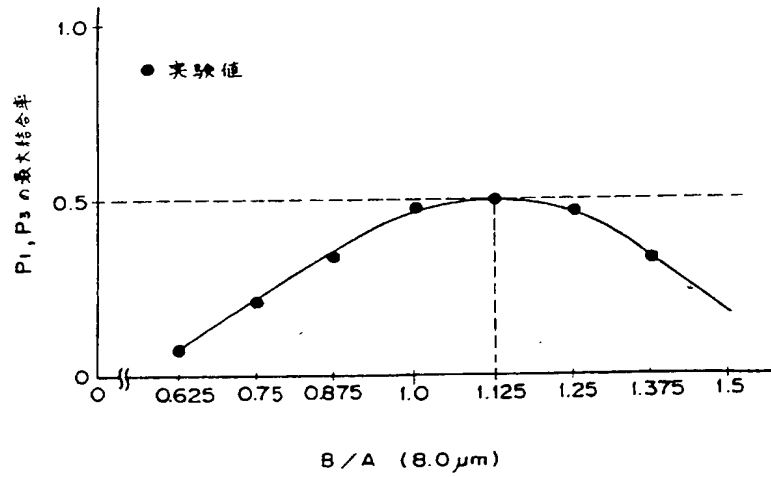




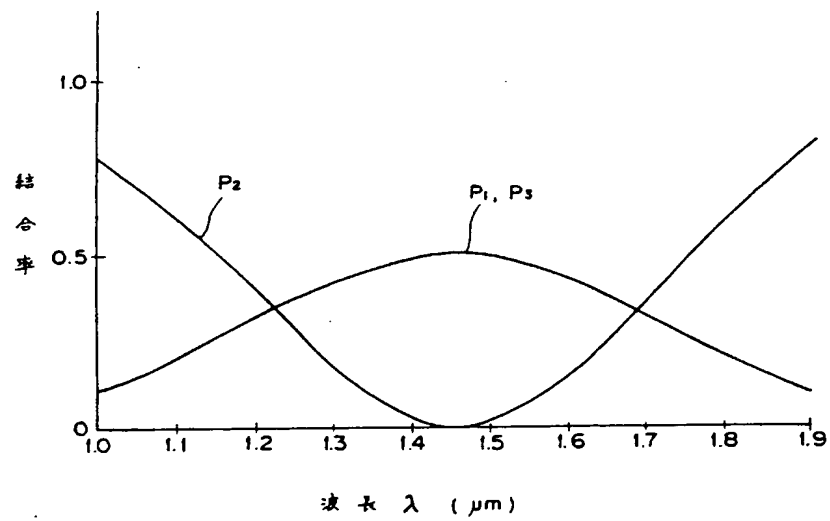
第4実施例の波長依存特性図  
第 6 図



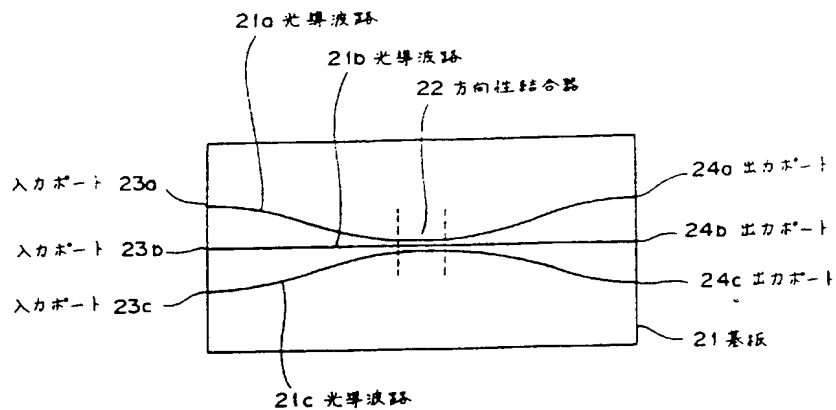
第5実施例の波長依存特性図  
第 7 図



最大結合率と外側導波路幅との関係の特性図  
第 8 図

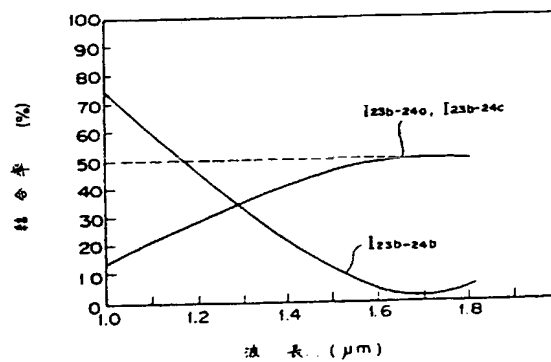


第6実施例の波長依存特性図  
第 9 図



従来例の構成を示す平面図

第 10 図



従来例の結合率の波長依存性の説明図

第 11 図